ディーゼル機関シリンダライナ冷却 水側の腐食とその対策

斎 藤 輝 彦 (東京水産大学)

Some Anticorrosive Methods on the Cylinder Liner and Jacket of the Diesel Engine

By T. Saito.

Abstract

Numerous theories have been advanced to explain the corrosion of the cooling surface on cylinder liners. But if a few causes are eliminated, the tendency of the corrosion will be reduced because the various causes acceralate each other.

This paper presents an advanced result of some anticorrosive methods treated on our Umitaka-Maru from a standpoint of operating engineer.

1. ま え が き

近年船用ディーゼル機関は、その経済性より低質重油の使用が一般常識となり、且つ大型化された機関の冷却媒体としてはほとんど清水が使われるので、冷却水側の腐食は余り問題とならず、内部摩耗防止にのみ意がそそがれている。然し中型、小型の商船、漁船などでは、依然冷却媒体として海水を使用しているので、冷却水通路となる機関構成部の防食は、機関取扱者の最も苦心するところである。就中、ディーゼル機関のシリンダライナは、物理的にも化学的にも極めて苛酷な条件に曝されるので、最も腐食の起こり易い部分である。

A重油を使用し内部摩耗も少ないのに、冷却水側の腐食により、機関使用時数1万時間に満たずしてシリンダライナを新換せねばならぬ事は珍らしくない。本船主機シリンダライナも新造以来4年足らず、その間の使用時数8300時間で、シリンダライナの肉厚の半分にも達する pitting や grooving を生じ、全筒を新換しなければならなくなつた。その後機関取扱者の立場からシリンダライナの防食問題を種々検討し、好結果が得られたので述べる事にする。本船(海鷹丸)主機関は浦賀 Sulzer 7 TPD-48型(単動2サイクル・トランクピストン式)2100馬力で海水冷却である。

2. シリンダライナ、シリンダジャケットの腐食および浸食

2-1 シリンダライナ、シリンダジャケットの腐食、浸食原因

金属が電解質溶液中につかっている場合、イオン化反応による腐食、galvanic action による腐食、溶存ガスの化学反応による腐食は当然考えられる事であるが、その他特にシリンダライナの腐食原因となるものを列举すれば

(1) 冷却水中に含まれる空気存在

空気存在は気泡となつて冷却スペースの上部に溜まり易く、その熱伝導率は水に比較して著

るしく小さいので、気泡附着部は局部的に過熱され高温腐食を惹起する。又沢山の気泡が含まれていると、冷却水進路の整流を乱す事が想像され、その際 erosion の作用をする。冷却水ポンプとしてプランジャー式を使用するものでは、water hammer action を防止するために空気室を備え吸気弁より少量宛空気を吸わせるので冷却系統に空気が混入する。渦巻式ポンプの場合でも、その使用法により空気が混入することがある。一般に此の種のポンプの吐出量加減は吐出弁で行なうが、これを吸入弁で行なつた場合、吸入圧力はマイナスを示す。普通、ポンプケーシング吐出側より扇車軸貫通のグランド部へシーリングウオータ用の管が設けられているが、此の管の閉塞や、コックの開け忘れなどでグランド部から空気が侵入するのである。

(2) シリンダライナの振動

爆発圧力による縦、横振動が pitting 発生の原因になるらしい事が、F.N. Speller, F.L. Laque などにより指摘されている。此の種の pitting はクランク 軸心に対して垂直方向に現われ、冷却水の出入口、シリンダライナの受圧面か否かに関係がない。そしてシリンダライナの肉厚 (mm) が内径 (mm) $\times 0.08$ 以下の数値である場合に影響が多いと云われている。

(3) 冷却水流路における乱流

2 サイクル機関では掃気孔や排気孔の関係で、冷却水が整然とした流れをつくる事が出来ず、殊に流速が早い場合、乱流域は渦流の現象を起し、シリンダライナに強い衝撃を与えて浸食を惹起する。4 サイクル機関でも殊に冷却水入口部には衝撃浸食がよく見られる。銅合金材に較べて FC 材は渦流浸食に弱いので、相当低水速の場合にも発生し易い事が認められている。

(4) 偏熱腐食

シリンダライナ内面は一般に $250 \sim 400^{\circ}\text{C}$ の高温に曝され、外面は冷却水によつて冷却されて略冷却水温度近くまで下降するので、シリンダライナ上部においては可成り急激な温度勾配を生じ、その間に発生する熱応力が腐食を促進する。又電解質溶液中にある同一金属体でも、その温度に差異のある場合は、その部分に電池が構成され、温度の高い部分が陽極となつて腐食が加速される。この事は本船シリンダライナの掃気孔、排気孔以下の部分、即ち上部に比較して低温の部分には腐食が現われていない事により明らかである。

(5) スケールの附着による過熱

海水中に含まれる CaSO_4 , MoSO_4 , CaCO_3 は高温部においてスケールを形成し、スケールの熱貫流率 λ は鋳鉄の $43\text{Kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ に対して $0.5 \sim 2\text{Kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ と極めて低いので、堆積が増すとシリンダライナは過熱され、その内面は圧縮応力、外面は引張応力を受け、限界値近くなれば引張応力に弱い FC 材の組織変化が起こり、その部分が腐食される。

(6) 砂泥の堆積によるもの

シリンダライナとジャケットの狭隘な間隙には、海水中に含まれる砂泥が堆積し、或る量の水酸化鉄、酸化物を含む砂泥自身の腐食作用と共に、間隙を埋めた固形物がシリンダライナのガス圧による半径方向の膨脹を許さなくなれば、その部分のストレスを増加させ腐食の原因となる。この事はシリンダライナのゴムパッキンに過大なものを使用した場合も起こりうる。長期碇泊する場合、腐食を防止する意味でジャケットウオータを抜く事は、シリンダライナ面のスケールや砂泥は吸湿性があるので乾燥できず、却つて逆の結果をもたらすものである。

(7) 支柱ボルト、シリンダカバ・ボルトの片締め

片締めにより生ずるシリンダライナ、ジャケットの異常な歪応力は腐食を促進する。

(8) その他、シリンダライナ材質の耐食性、均一性或は鑄造歪の除去が適切であつたか否かも腐食の要素となる。

以上腐食および浸食の原因を列挙してみたが、船用ディーゼル機関のシリンダライナにおいては、単一の原因による事は考えられず、幾つかのものが重なり合つて腐食や浸食を加速度的に促進し合うものである。例えば galvanic action により生じた小さな pitting はシリンダライナのうける繰り返し応力により stress concentration を起こして大きなものに発展するであろう。反対に単一の原因による場合は、海底深く沈没したタービン船の主機タービンでさえ、年月を経て再度使用出来た例もある。

2-2 海鷹丸シリンダライナおよびシリンダジャケットの腐食（浸食）状態の考察

Fig. 1 海鷹丸シリンダライナの腐食状態

のゴムリング溝の腐食は、砂泥の堆積によるもの或は形状の変化より起こる stress concen-

Fig. 1 の腐食状態は既に述べた原因の何れに当てはまるか想像出来るが、念の為再度検討してみると、最上部附近に見られる pitting は気泡による局部過熱、偏熱腐食などが考えられる。中央附近、シリンダライナ注油孔の間に見られる垂直方向に発生した多数の pitting は、シリンダライナの振動或は冷却水の乱流によるものと思われる。前者の場合、本シリンダライナの上部肉厚 36.5mm に対して、内径は 480mm であるから $480 \times 0.08 = 38.4$ となり此の数値より肉厚が薄いので振動を起こし易い。後者の場合、シリンダカバに通ずる冷却水連絡管が、二つの注油孔の各々僅か外側 (Fig. 2-2 参照) に接続している (反対側にも対称的についでいるので合計 4 本) ので、恰度両注油孔の中間附近で冷却水が別れて連絡管に流出する場所である。此の部の浸食は、シリンダライナの受圧側或は前後方などの位置的関係がないのは振動による場合と同様であるが、冷却水の乱流、渦流などの影響とも考えられる。下端第一段目の

Fig. 2-1 海鷹丸シリンダジャケットの腐食状態

Fig. 2-2 同 説 明 図

tration によるものと思はれる。Fig.1 に示すものは pitting であるが、他のシリンダライナには grooving を呈しているものもあり、ゴムリングの効果が激減して、掃気孔と排気孔に冷却水の漏洩をみた。

Fig. 2-1, 2-2 はシリンダジャケット側の pitting および grooving を示す。冷却水は冷却水主管よりA部のスペースに入り、掃気孔 (B)、排気孔各々の両側の通路を通つてD部の全周囲にわたる孔から一様に流出し、シリンダライナの高温部を冷却して、連絡管に通ずる孔Gから外側に流出しシリンダカバに至る。孔Eはジャケットの冷却効果を上げるために設けられたもので、その幾つかは裏側で溝状孔Dと通じている。此の孔は冷却水流を幾分乱すであろう。C部はシリンダライナ上部2本のゴムリングの接触する機械加工面で、此の部の腐食原因は対応するシリンダライナ部分とほぼ同様であると云える。なおFはシリンダ注油プラグの通る孔である。A部中央にシリンダジャケット附属の防食亜鉛が見られ、これと同サイズのものがシリンダカバ内にも1個ある。その重量約 600g、全表面積約 300cm² である。

3. シリンダジャケット腐食部の修理とシリンダライナ防食対策

3-1 腐食シリンダジャケットの修理法

シリンダジャケットのC面は、シリンダライナ挿入の際ゴムリングが滑る部分であるから、腐食して膚が荒れているとゴムリングを傷つけその効果をなくすものである。此の部分は適切な防食塗装が出来ないので尚更腐食を起こし易く、シリンダジャケット全体を新換する事は、大型機関になる程極めて大工事となる。従つて現場でなしうる補修方法を考えてみる必要がある。その方法として

- (1) 腐食部分を削正してリングを挿入する。
- (2) 低温溶接で腐食部分を埋め平滑に仕上げる。
- (3) 腐食部分にプラグを埋める。
- (4) 樹脂を主成分とする充填剤で埋める。

Fig. 3 プラグによる grooving の修理

Fig.3 はゴムリングに接触する部分が grooving を起こした時の一修理方法で、不銹鋼材にねじ山を切つたプラグを作つてねじ込み平滑に仕上げる。ねじ山部からの浸水を防ぐ為、光明丹をボイル油で溶かしたものをねじ山部に塗つてからねじ込む。

以上が考えられるが、(1)の方法は現場では相当の困難を伴ない、(2)の方法はシリンダジャケットに歪を起こし易く、(3)の方法

は局部的な腐食には良いが、腐食が広範囲の場合は困難である。(4)の方法は接着強さにおいては勿論前者に劣るが大変簡便で、本船シリンダジャケットはこれにより補修して好結果が得られた。此の種充填剤は色々な商品名で市販されているが、大体エポキシ樹脂に金属粉末を混合したペースト状のものに、使用前硬化剤を入れて用うるものである。

国産品	ゼネラル・メタルボンド
	ボンド・ファイラー
輸入品	ARALDITE
	CORDBOND

何れにせよ使用に際しては充填面の錆、塵埃、油脂分、水分、塗料などを完全に除いておかねばならぬ。ワイヤーブラシ、鑢紙、グラインダなどで表面を磨いて粗面とした方が接着力が強いようである。硬化時間は常温 (20°C) では24時間以上を必要とするが、60°Cでは約2時間、80°Cでは約45分、100°Cでは約30分で完全硬化し、加熱硬化させた方が強度を増す。加熱にはトーチランプ、赤外線などを用いるが、直射せず輻射熱を利用すべきである。本船ではゼネラルメタルボンドを使用し、補修後の運転時数 2500 時間でシリンダライナを抜き出し検査したところ、厚さ 0.5mm 程度の平坦補修部は剝離されていたが、その他は完全に密着していた。剝離した面は金属光沢があるので、抜き出しの時に剝離されたものであろう。

3-2 シリンダライナ防食対策とその結果

(1) 材質の検討

藤永田造船所研究課に腐食シリンダライナの化学分析を依頼し、次の結果を得た。化学成分の各数値も、組織写真の黒鉛炭素の配列、素地ともシリンダライナ材としては良好と認められ、クロムの 0.2~1.0% の含有は鑄鉄の耐食性を増すと云われているので、材質的の欠陥はないようである。

化 学 成 分 (%)						
T.C.	G.C.	Si	Mn	P	S	Cr
3.04	2.56	2.56	0.95	0.106	0.04	0.6

(2) 電気化学的腐食の対策

従来、シリンダジャケット部には既に述べたベローズ型の防食亜鉛が1個ついていたが、新換後のシリンダライナには Fig. 5, 6 に示すように防食亜鉛バンドを増設した。

Fig. 5 防食亜鉛バンド

たのが 1.0~1.2kg/cm² で使用する事になった。

主冷却水ポンプは電動渦巻式15馬力で、口径 130φ、容量 85m³/h、揚程20m、毎分回転数1750 であるが、製造時の運転性能曲線からは、揚程20mにおいて容量 150m³/h と大きな値を示しているので、相当絞り調整しなければならなかった。機関運転時数 6000 時間位までは、ポンプ吸入

Fig. 4 腐食部を中心とした顕微鏡組織
×120, 1% HNO₃ Alch.

(3) 冷却水の流速と空気混入防止の対策

腐食原因(3)で述べたように渦流浸食の傾向が認められるので、冷却水の舷外排出弁開度 (全開9回転) を $\frac{3}{4}$ ~2回転程度に絞って流速を遅くした。冷却水通路の形状が複雑であるから、冷却水ポンプ吐出後排出されるまでの流速の計算は甚だ困難であるが、従来シリンダ入口における冷却水圧力 0.5~0.7kg/cm² で使用してい

弁による流量調整を行なっていたが、cavitation による扇車、吸入弁本体の浸食が激しいので、その後吐出弁による調整に変更した。渦巻式ポンプでは吐出弁調整がポンプ効率の点からも常道で吸入圧力も正の値を示すので空気の侵入が防止出来る。

(4) 長期碇泊中のジャケットウオータの処置

碇泊が長期にわたる時、当然その間も電気化学的な腐食が進行するので、汽缶の休缶保存法に準じて、シリンダジャケットをアルカリ性水溶液に漬ける方法を試みた。アルカリ性水溶液中では水酸化第一鉄の溶解度が少なく、従って鑄鉄の腐食速度は太いに減少するからである。

ジャケットウオータを抜き去った後、シリンダカバの掃除孔より清水を注入し、約一昼夜清水漬けにして再び抜き去り、再度清水を注入する場合、本船の汽缶に使用している極光クレンザ（第三磷酸ソーダ系の清缶剤）を溶かした液を同時に注入する事にした。最初注入した清水量が約1トンであったが清缶剤 200g を溶解してアルカリ度を 200 P.P.M. とした。常温常圧の場合、アルカリ度 130 P.P.M. 以上の液は腐食を完全に防止出来ると云われている。

シリンダライナの全筒（7筒）新換後以上の方法を試み、運転時数 2500 時間で任意の3筒を抜き出してみたが、流速を遅くした関係でスケールの附着量は幾分多目であつたが、何れにも腐食は認められなかった。

3-3 EDOLAS FEEDER（皮膜性防食防錆剤自給器）の新設

既に碇泊中試みたシリンダジャケットのアルカリ性水溶液漬けを、機関運転中にも行なう意義を有するもので、前記 2500 時間の運転後新設した。

エドラスフィーダは外函と内筒から成っており、内筒はその全周および底部に多数の小孔を有する網状筒である。この中に結晶体の防食防錆剤エドラスクリスタルを充填し、冷却海水が通過する際（本船の場合、主冷却水ポンプの吸入側に設備した）、クリスタルが徐々に海水に溶解され海水中的の酸を中和して塩基性にし、金属の酸化分解による腐食を防止すると共に、防食対称となる金属表面に 1μ 以下の薄い保護膜を形成するものである。クリスタルは淡黄褐色透明の結晶塊で、成分は公表されないが凡そ Na_2SiO_3 （珪酸ナトリウム）、 NaNO_2 （亜硝酸ナトリウム）などが含まれているようである。

エドラスフィーダ設備後、前記碇泊中のアルカリ性水溶液漬けは中止したが、運転時数 430 時間（シリンダライナ新換後 2900 時間）で、シリンダライナ1筒を抜き出し検査したところ、前回同様腐食箇所は認められなかった。本船におけるクリスタルの消費量は、初充填量 100kg に対し 1ヶ月当り 8~10kg である。

4. む す び

シリンダライナ新換後、種々試みた方法の何れがより効果的であつたか、その結論をくだす事は出来ない。然し既に述べたように、シリンダライナの腐食、浸食は種々の原因が合成されて互いに促進し合うので、その原因の一つ或は二つでも除かれたならば、腐食の速度はゆるやかになる事は間違いないだろう。galvanic action に対して有効な防食亜鉛も、その有効期間は1年以

Fig. 6 防食亜鉛バンド増設のシリンダライナ外観

内と思われるから、防食亜鉛を新換する為にも、又硬質のスケール、堆積した砂泥を除く為にも年に一度のシリンダライナ拔出しが望ましい。エドラスフイダの設備により防食亜鉛を省き得るか否かは将来の研究にまたねばならない。シリンダライナの防食塗料については、完璧と思われるものが見当らぬので触れなかつたが、たとい完璧なものがあるとしても、ジャケットのシリンダライナ挿入面のような塗装の出来ない部分、或は挿入の際、シリンダライナ塗装部につき易い擦り傷に腐食が集中するおそれがある。此の意味で化学的防食皮膜剤の併用は意義あるものと考えられる。

【参 考 文 献】

- (1) 日本機械学会：内燃機関（下巻）昭32
- (2) 木脇充明：汽缶給水及び缶水の処理、昭26
- (3) John Lamb : The Running and Maintenance of the Marine Diesel Engine. 1949